

Verdadero/falso*

Jean-Marc Lévy-Leblond

“**E**l Sol gira alrededor de la Tierra, ¿verdadero o falso?”. “El hombre y la vaca tienen ancestros comunes, ¿verdadero o falso?”. “La luz es partícula y onda a la vez, ¿verdadero o falso?”. Este tipo de preguntas figura entre los sondeos que pretenden situar el nivel promedio de los conocimientos científicos de los franceses. Aunque la conclusión general de esas encuestas –a saber, que nuestra cultura científica colectiva no es muy satisfactoria– no sea discutible, y tampoco sorprendente, la base misma de dichos análisis es más frágil de lo que parece, y su significado más incierto. Si un 25% de los encuestados piensa que el Sol gira alrededor de la Tierra, si un 50% considera como falsa la existencia de ancestros comunes para el hombre y la vaca, y un 35% como falso que la luz sea ondulatoria y corpuscular a la vez, ¿se puede deducir de ello que un francés de cada cinco y una francesa de cada tres siguen siendo precopernicanos, uno de cada dos predarwiniano y uno de cada tres prebohriano? Para empezar, habría que ponerse de acuerdo sobre cuáles deberían ser las respuestas *buenas*.

AUTOSONDEO

“¿Gira el Sol alrededor de la Tierra?” Claro que sí. Lo veo muy bien, cada día, girar del oriente al poniente, y mis ojos no se equivocan; además, ese movimiento es regular, predecible, y mi conocimiento, por lo tanto, es más que científico. No hay paradoja alguna en esto, cuando mucho, una ligera provoca-

* Este texto es un resumen del capítulo 1 del libro *Aux contraires. L'exercice de la pensée et la pratique de la science*, publicado por Gallimard, París, 1996. Traducción del francés de Jean Meyer.

ción. Es que la gran pregunta sobre los “sistemas del mundo”, la confrontación del geocentrismo y del heliocentrismo no trata del movimiento relativo de la Tierra y del Sol, sino de otros planetas. Son los movimientos erráticos de Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno en la bóveda celeste los que han introducido tantas complicaciones en el sistema geocéntrico de Tolomeo, que la revolución heliocéntrica de Copérnico terminó por hacerla estallar. Tan es así que “los dos grandes sistemas”, como dice Galileo, no constituyen los términos exclusivos de una alternativa. Se pueden combinar los presupuestos teológico-ideológicos del geocentrismo y la eficacia teórica del heliocentrismo, como lo propuso Tycho Brahe en un astuto e irrefutable compromiso. Basta con suponer que la Tierra es fija y que el Sol se mueve a su alrededor, pero que los otros planetas se mueven alrededor de tal Sol móvil y no de la Tierra fija... Ninguna observación podrá discriminar entre ese sistema y el de Copérnico, estrictamente heliocéntrico; y es que el sistema de Tycho Brahe no es más que el de Copérnico –observado desde el punto de vista de la Tierra, punto de vista válido, sin duda, que fue el único durante mucho tiempo–. Tycho Brahe anunciaba así la concepción moderna, la cual no es ni geocéntrica, ni heliocéntrica, sino más bien acéntrica.

Para el físico moderno, pues, todos los puntos de vista son válidos *a priori*, y la descripción de los movimientos puede hacerse de manera coherente a partir de un puesto de observación cualquiera (los físicos hablan de “sistema de referencia”). Lógicamente, esa descripción es relativa al punto de vista adoptado, y toda la cuestión consistirá en saber cómo pasar del uno al otro: tal es el objeto de una teoría de la relatividad, sea galileana o einsteiniana. Por lo pronto, el punto de vista terrestre es el nuestro, tiene su legitimidad y su eficacia; es usando una descripción al estilo de Tycho Brahe, modernizada y refinada, como se calculan las trayectorias de los cohetes espaciales, puesto que los lanzamos a partir de la Tierra, *nuestro* punto fijo. ¡Con todo el rigor científico no es falso afirmar que el Sol gira alrededor de la Tierra! Incluso desde el punto de vista, filosóficamente ingenuo, de la física, hay que reconocer con Husserl que, en cierto sentido, la Tierra no se mueve. Para prevenir ciertas objeciones, digamos que se debe distinguir la descripción de los movimientos (cinemática) que acabamos de discutir, de su explicación (dinámica) por las fuerzas que

los determinan. Entonces, diremos que Newton, si no es que Copérnico, ha dado al heliocentrismo un fundamento absoluto al deducir las trayectorias de los planetas (elipses de Kepler) de la atracción gravitacional ejercida sobre ellos por el Sol. Pero la cuestión, por lo mismo, deja de ser la de la evidencia observacional y de la fiabilidad (o no) de nuestras percepciones. Esa validación del heliocentrismo no lo sitúa en el mismo plano que el geocentrismo ingenuo; como no se encuentran, no se contradicen.

Además, la atracción gravitacional del Sol y de los planetas es recíproca. En un par de astros en mutua atracción, cada uno se mueve en relación con el centro de gravedad del sistema, punto abstracto y ficticio, el cual, sin embargo, es el único que podría definir un centro “fiable”. Resulta que la muy considerable masa del Sol en relación con la de los planetas lleva su propio centro a ser prácticamente el centro de gravedad general. Pero se trata de un hecho particular, muy cercano a la contingencia. Por cierto, ese mismo hecho permite asimilar las trayectorias de cada planeta a una elipse descrita alrededor del centro de gravedad, pero sólo en una primera aproximación: tan pronto como se toman en cuenta las interacciones mutuas de los planetas, y se consideran sus trayectorias a lo largo de millones de años, la hermosa simplicidad de las elipses de Kepler desaparece y nos encontramos con figuras muy complejas. Por poco que nos interese en conjuntos planetarios que gravitan alrededor de un sistema estelar múltiple, el ballet cósmico de los planetas y sus soles tiene poca probabilidad de mostrar regularidad alguna, ni aun a corto plazo, lo que vuelve al término “planeta” (etimológicamente: “errante”) más justificado aún que en nuestro sistema solar. Por lo pronto, a la pregunta: “¿Gira el Sol alrededor de la Tierra?”, no se puede contestar según la dicotomía verdadero/falso; antes de contestar, la ciencia preguntará: “¿Desde qué punto de vista?”, y sujetará su respuesta, prudente, a toda una serie de condiciones anexas que le puedan garantizar pertinencia.

“La luz del Sol es: a) formada de minúsculas partículas; b) una onda; c) ambas cosas; d) no sé”. Tal sería la formulación exacta (no digo que precisa) de una pregunta del sondeo. Lógicamente, sé qué esperan de mí. Se supone que debo saber que la concepción corpuscular antigua, así como la teoría ondulatoria que la desplazó en el siglo XIX, han caducado con las ideas cuánticas y que

Bohr hizo obsoletos tanto a Newton como a Fresnel. ¿O acaso no se impuso la idea de dualidad onda-corpúsculo? Así la luz sería a la vez “onda y partícula”. ¿Pero cómo admitir que un objeto físico sea de dos naturalezas heterogéneas? Es un laxismo terminológico y epistemológico insoportable. No molesta mucho al físico, que descansa sobre sus aparatos y sus ecuaciones, más fiables que las palabras, pero esa confusión hace daño a la docencia, a la difusión y a la divulgación de la física moderna. ¿Por qué sorprendernos, entonces, cuando un 70% de los encuestados evita la respuesta c), la que espera el encuestador, la que es sencillamente absurda?

La situación se parece en algo a la que vivieron muchos exploradores al descubrir una fauna ajena. ¿Cómo describir a un animal desconocido, si no es con rasgos tomados de animales familiares? Una cabeza de camello, un cuerpo de cabra: la llama. Y los primeros colonos, presidiarios y aventureros, al ver en los ríos auríferos de Australia extraños bichos con pico y pelo, los bautizaron como “*duckmole*”, pato-topo; pero los autóctonos los llamaban “*mallingong*” o “*boondaburra*” (por desgracia le pusimos el pesado ornitorrinco, el *platypus* anglosajón). No se trataba, sin embargo, de híbridos de pato y topo, sino de animales hasta entonces desconocidos por los europeos. El físico ve bien que la luz, en los aparatos en los cuales la manipula, en las ecuaciones con las cuales la describe, no es *ni* onda *ni* partícula –no es a la vez la una y la otra, ni tampoco a veces la una, a veces la otra. Sus constituyentes elementales, los fotones, son entidades de un nuevo tipo, características del mundo cuántico: los “cuantos”, puesto que ese neologismo se impone—. Por más que, en ciertas circunstancias, un cuanto se parezca a una onda, o en otras, exclusivas de las primeras, a una partícula (como un ornitorrinco que no enseñara más que el pico y pudiera confundirse con un pato, o sólo la cola y confundirse con un conejo), es su originalidad y su diferencia en relación con esos objetos clásicos lo que lo vuelve interesante. Así, la respuesta esperada c) no es más correcta que a) o b) y menos correcta que la dilatoria d). La “verdad” del conocimiento científico pasa entre las mallas demasiado burdas de la red del lenguaje común con la cual se le pretende capturar.

“¿Tienen el hombre y la vaca ancestros comunes?”. En este caso no se trata de usar conocimientos sutiles de un campo esotérico y formalizado como el de

la teoría cuántica, sino sólo nociones elementales de la teoría de la evolución; sin embargo, la pregunta sigue siendo ambigua. Las palabras de la lengua común y corriente “hombre”, “vaca”, y especialmente “ancestros”, llevan una carga tal de asociaciones y referencias que se salen fácilmente del marco conceptual en el cual quiso inscribirse la pregunta. ¿Cómo evitar que para una buena parte del grupo “representativo” de la población, la palabra “ancestros” tenga un sentido sencillamente humano y familiar? Los ancestros, en el sentido común, son los antepasados nuestros, cuya ascendencia conocemos y reconocemos. La palabra no se usa ni para los animales más familiares. ¿A poco se habla de los abuelos de la vaca o del tío del gato? Por lo tanto, una respuesta negativa a la pregunta parece perfectamente legítima y apunta a que hombres y vacas no tienen una historia familiar común (con las solas excepciones de Minos, Sarpedon, Radamantes o Epafos). La voluntad de plantear la pregunta en un lenguaje sencillo, lejos de facilitar el recurso a un conocimiento científico supuesto, borra las pistas de la memoria y del saber. Valdría la pena rehacer el sondeo con un vocabulario más adecuado al contenido conceptual apuntado, por ejemplo: “¿Humanos y bovinos tienen una ascendencia común?”.

Así, el saber que produce la investigación científica no se puede trozar en aserciones aisladas: un enunciado, por elemental y compacto que sea, no adquiere sentido si no es en su marco conceptual global. No es “verdadero” (o “falso”) en sí mismo.

VERDADERO, SI..., FALSO, PERO...

Contra lo que comúnmente se piensa, el gran asunto de la ciencia es menos la producción de verdades absolutas y universales, o el reconocimiento de errores imperdonables, como la delimitación de las condiciones de validez de enunciados, de los cuales el científico duda en decir que son “verdaderos” o “falsos” sin calificativos. Para que un resultado experimental o una ley teórica sean tomados en consideración, para que puedan ser discutidos como científicos, deben ser presentados como “verdaderos, *si...*” o “falsos, *pero...*”. Las verdades de la ciencia no son jamás desnudas. Es la enunciación dura de las condiciones, circunstancias, hipótesis de una aserción, lo que le da sentido y permite

su aceptación o su rechazo. Así, es “verdad” que el Sol gira alrededor de la Tierra, *si* el movimiento se describe en referencia a la Tierra; recíprocamente, es “falso” que el Sol gire alrededor de la Tierra, *pero* esa descripción es correcta desde un punto de vista peculiar...

Lo que distingue a la ciencia en el concierto de los modos de conocimiento humanos es, contra lo que se dice comúnmente, la renuncia a lograr la verdad, o más exactamente, el hacer de la verdad una noción puramente relativa, siempre subordinada a la de validez. No hay enunciado científico “verdadero”, por más sencillo, directo, evidente y antiguo, que no se pueda ver un buen día sacudido y desestabilizado al ser puesto en perspectiva. El marco que aseguraba su validez, hasta entonces implícita, se encuentra tarde o temprano rebasado y englobado en un cuadro más amplio, y la “verdad” del enunciado inicial se ve contradicha fuera de las fronteras del invisible campo inicial.

PITÁGORAS Y LA ESFERA

—Tomemos el teorema atribuido a Pitágoras: “En un triángulo rectángulo, el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos”. ¿No es eso un enunciado verdadero, absolutamente verdadero?

—Todo depende de lo que se llame triángulo rectángulo...

—Pues, ¡un triángulo con un ángulo recto!

—Pero, ¿qué es un triángulo?

—¿Te burlas? Evidentemente, una figura formada por tres puntos unidos dos a dos.

—¿Unidos cómo?

—¡No te lo voy a repetir: “por el camino más corto” entre dos puntos, eso se sabe desde Euclides!

—¡Pero no se enoje! Estoy de acuerdo con sus definiciones, pero no implican la veracidad del teorema de Pitágoras.

—¿Cómo?

—Considere el polo Sur y las ciudades de Santiago y del Cabo. Las dos ciudades se encuentran más o menos a la misma latitud. Esos tres puntos definen un triángulo cuyos lados, “los caminos más cortos”, son segmentos de los meri-

dianos de Santiago y del Cabo, y el segmento del paralelo común a las dos ciudades; como tienen longitudes diferentes de 90 grados, el ángulo al polo de este triángulo es recto. Los lados de ese triángulo rectángulo casi isósceles miden 6 290 y 6 230 km, y su hipotenusa 7 940; averigüe: $6\,290^2 + 6\,230^2$ al cuadrado = 78 377 000. No es lo mismo, y por mucho, que $7\,940^2$ al cuadrado = 63 043 600. El teorema es falso. Falso dos veces, puesto que existe otro triángulo rectángulo, definido por las dos ciudades y el polo Norte. Haga el cálculo y verá que la situación es peor aún.

—¡Pero usted hizo trampa al dibujar sobre una esfera y no sobre un plano!

—¿Quién dijo que el triángulo tenía que definirse en un plano?

—Era obvio.

—Pues no; hay que precisarlo para que el teorema sea verdadero.

—¡Entonces, toda la geometría ve su verdad amenazada!

—Yo diría condicionada, relativizada. Sí, toda. Por ejemplo, la suma de los ángulos de un triángulo, en una esfera, deja de valer 180 grados. Pero tranquilícese, la geometría “ordinaria” sigue en pie *si* uno precisa que es válida en un plano.

De hecho, los objetos matemáticos que intervienen en el enunciado de un teorema como el de Pitágoras tienen una extensión ontológica más amplia de lo que uno pudiera pensar, y existen en un contexto más general que el del teorema inicial. Es el contexto de los espacios “curvos”, también llamados no euclidianos, puesto que en él los axiomas de la geometría euclidiana pierden su valor. Por lo tanto, los seres de esa geometría se aplican también a tales espacios, pero sin tener las mismas relaciones. Así, el teorema de Pitágoras se ve refutado en las geometrías post-euclidianas, y no aparece sino como un caso particular válido para los casos de curvatura nula. Ya no se puede enunciar ese teorema sin indicar que “para un triángulo rectángulo definido en un espacio euclidiano, el cuadrado de la hipotenusa...”. El teorema es verdadero *si* el espacio es plano. Pero, ¿qué es un espacio plano, y cómo distinguirlo de un espacio curvo? Lo más sencillo es precisamente definir un espacio plano... ¡por la validez del teorema de Pitágoras! Esa revolución del orden de los enunciados, que hace de un teorema (demostrado dentro de un marco implícito) un axioma (presentado como especificación explícita de dicho marco), es práctica común en las matemáticas. El cambio de estatuto que impone tal mutación a una ver-

dad, establecida en el primer caso, supuesta en el segundo, ilustra el carácter relativo de la noción misma de verdad. Claro, en un contexto más amplio, los resultados primitivos no desaparecen sin dejar huellas, los sustituyen nuevos enunciados, de los cuales son expresiones simplificadas y aproximadas cuando la situación se acerca al cuadro inicial. Así, los antiguos enunciados pueden considerarse como “falsos, *pero...*”.

Las matemáticas, ciertamente, no ofrecen el terreno más favorable para nuestra discusión. Es que esos científicos, al menos desde el principio del siglo XX, han tomado la medida del carácter condicional de la “verdad”, precisamente a partir de la experiencia de las geometrías no euclidianas y de las generalizaciones de la noción de número. Así aprendieron a precisar cuidadosamente, al lanzar sus análisis, las hipótesis que las fundan: los axiomas de la teoría explorada. Esa formalización axiomática, vuelta obligatoria, les proporciona una arquitectura conceptual racionalizada que permite invertir teoremas y definiciones según las generalizaciones deseadas. La posibilidad de proceder así, gracias al objeto totalmente intelectual de las matemáticas, podría hacer creer que el necesario condicionamiento de la verdad de los enunciados científicos es asunto de pura lógica y que no depende sino de una exigencia de coherencia del discurso. Pero la física, confrontada a una realidad mucho más resistente, enseña que la naturaleza esencialmente hipotética de los enunciados científicos obedece a una característica más profunda de la noción general de “verdad” científica.

CAMPOS DE VALIDEZ

No cabe duda de que la primera teoría física, en el sentido moderno de la palabra, ha sido la mecánica de Newton. Por primera vez, un amplio conjunto de hechos de observación y experiencia se encontró trascendido y sintetizado en un formalismo matemático coherente, explicativo y predictivo. Los éxitos de la teoría, especialmente en el campo astronómico, llevaron a los físicos de la primera mitad del siglo XIX a darle su total confianza, hasta en los nuevos campos de investigación, en particular la electromagnética. Hubo que esperar hasta principios del siglo XX para que las crecientes dificultades que encontraba el

paradigma newtoniano llevasen a aceptar la necesidad de rebasarlo con una nueva concepción, fundada en la noción de campo y en la relatividad einsteiniana. Rebasar no es reemplazar, y la relación de Einstein a Newton no es para nada la de la verdad y el error. Para considerar el punto de vista einsteiniano como “verdadero”, sin más calificación, habría precisamente que olvidar las condiciones de su aparición, contra la teoría newtoniana. La prudencia elemental nos impone adoptar de aquí en adelante un punto de vista menos dogmático y tomar la teoría einsteiniana por válida de manera *provisional*. Los conceptos newtonianos han mostrado sus límites en condiciones muy precisas: esencialmente cuando se tuvieron que considerar fenómenos que implicaban velocidades iguales o superiores a la de la luz (y para empezar, los propios fenómenos luminosos). Al contrario, sabemos, pues, que cuando esas condiciones no son pertinentes, es decir, para velocidades inferiores a la de la luz, la teoría newtoniana sigue siendo válida. Así, la puesta en evidencia de las limitaciones de dicha teoría, lejos de debilitarla, la fortalece, dentro de su campo de validez, ahora reconocido. Este es el punto clave. Con todo y los fantasmas siempre recurrentes (posiblemente fecundos para algunas mentes) de una “teoría última” que describiría absoluta y totalmente lo real, el consenso implícito y práctico de los físicos los lleva a concebir toda teoría física como adecuada a la descripción y comprensión de un sector parcial de la realidad. Una teoría no es asimilada y dominada mientras no se conocen sus límites. Esa situación no es muy original, y la vida cotidiana la ilustra muchas veces: el ciudadano respetuoso de las leyes de su país necesita conocer sus fronteras si no quiere cruzarlas imprudentemente y correr el riesgo de violar leyes extranjeras desconocidas; la buena conducción de las máquinas exige que el operador conozca los límites de sus posibilidades. La única particularidad de la ciencia es, quizá, la de haber dejado creer (a los profanos, pero más aún a los científicos) que ella podía escapar a esas limitaciones.

Una teoría confirmada hasta ahora siempre se expone al riesgo de toparse con el imprevisible hecho experimental que señalará los límites aún desconocidos de su alcance. Al revés, una teoría cuyas fronteras han sido marcadas, se encuentra confortable dentro de su campo, en el cual se puede incluso estimar con precisión su grado de adecuación a la realidad. Así como, por lo pronto, la

relatividad einsteiniana no ha manifestado ninguna debilidad, nos encontramos cada día en riesgo de cometer errores al aplicarla a fenómenos que bien podrían escapar a su jurisdicción sin que tengamos conocimiento de ello; mientras que la relatividad galileana, de la cual sabemos que no vale sino para velocidades muy inferiores a la de la luz, se beneficia por lo mismo de nuestra confianza, tanto más fundada en cuanto que podemos evaluar y controlar el grado relativo de su adecuación. Es precisamente uno de los privilegios de la física matematizada el poder evaluar cuantitativamente la fiabilidad de sus teorías una vez encontrados sus límites al ser rebasadas por una teoría más eficiente. La precisión de la física newtoniana está garantizada para los transportes aéreos: se puede tratar la aviación supersónica y los cohetes espaciales sin poner en cuestión la fiabilidad de la mecánica clásica.

Tampoco hay que creer por lo tanto que las condiciones de fiabilidad de los enunciados científicos dependen de las solas cláusulas numéricas. La delimitación cuantitativa del campo de validez de tal o cual aserción presupone que las nociones movilizadas sean suficientemente precisadas para que la aserción sea pertinente. Es en el fondo el caso más sencillo, pero muchas veces es la noción crucial misma la que pide ser mejor determinada y hasta recalificada en el plano conceptual.

Tomemos, por ejemplo, uno de los enunciados mejor conocidos de la física moderna, de aquellos que, con todo y su carácter paradójico, para el sentido común, se consideran normalmente como de principios: ¿se puede rebasar la velocidad de la luz? Tal enunciado, como todos los de la física, es cierto, *si...* Entre sus condiciones, una es tan conocida que casi sobra decirla: ese límite es válido en el vacío, puesto que en un medio material como el agua o el aire, la velocidad de la luz, por sus interacciones con las partículas cargadas (electrones) de los átomos del medio, es inferior a su velocidad en el vacío, y puede ser rebasada por agentes físicos menos interactivos. Limitándonos al campo de las ondas electromagnéticas, los rayos X, por ejemplo, se propagan en la materia a una velocidad muy superior a la de la luz visible, cercana a la de su velocidad en el vacío, o sea la famosa velocidad límite. Pero apuntamos a otra condición de validez, más profunda y pocas veces explicitada.

¿MÁS RÁPIDO QUE LA LUZ?

—Imagine usted un faro giratorio común y corriente, con una diferencia: se encuentra en el vacío intersidereal, como un faro espacial. Supongamos que gire a la velocidad de una vuelta por segundo.

—Nada extraordinario, es cierto.

—Considere ahora la mancha luminosa proyectada sobre un objeto lejano, situado a una distancia D . ¿Podría usted evaluar la velocidad de desplazamiento de dicha mancha, sin cálculos muy abstractos?

—¡Muy fácil! Lo más sencillo es imaginar una pared circular centrada sobre el faro con un radio D , precisamente. Su circunferencia sería $L=2\pi D$ y la mancha la recorrería exactamente en un segundo. Su velocidad a lo largo de esa pared, completa o no, es, suponiendo D dado en kilómetros, L kilómetros por segundo.

—De acuerdo. Por ejemplo, si la distancia es de 1 000 kilómetros.

—La velocidad es de 6 000 kilómetros por segundo.

—¿Y si D vale 100 000 kilómetros?

—La velocidad será como de 600 000 kilómetros por segundo.

—¿Seguro?

—¡Bueno... hay un problema... es algo como lo doble de la velocidad de la luz!

—¿Eso le molesta?

—Mucho, ¿a poco no es insuperable la velocidad de la luz?

—¿Entonces, qué falla?

—...

—Tómese su tiempo, la solución no es evidente.

—¡Ya veo! No tomamos en cuenta la velocidad de propagación finita de la luz del faro.

—Cierto, ¿pero en qué afecta eso?

—Entre el momento en que los fotones que componen el rayo dejan el faro que los emite, y el momento en que llegan al objeto, el faro tuvo tiempo de girar. La mancha no se encuentra más en la prolongación del rayo emitido.

—¿O sea que ese rayo no se puede considerar como rectilíneo?

—Exacto. De hecho dibuja una espiral, arquimediana, si no me equivoco.

—Usted tiene toda la razón y el fenómeno no es misterioso. Lo puede observar cuando usted usa un rehilete en su jardín: el chorro de agua dibuja una espiral de ese tipo, pero ¿cuál es la relación con nuestra paradoja?

—Pues, que ese desfase frenará la marcha, ¿no?

—¡Para nada! La curva en espiral que dibuja el rayo no es la trayectoria de los fotones en el caso del faro, o de las gotas en el caso del rehilete. Esas trayectorias son siempre rectilíneas y radiales. La espiral que usted ve no es más que la posición de los fotones o de las gotas salidas de sus fuentes en diversos instantes. Cada fotón recorre siempre exactamente la distancia radial que separa el faro de la pared...

—Ya veo... El desfase entre emisión y arribo es constante y la mancha tiene que girar a la misma velocidad de rotación del faro.

—Basta con notar que la forma del rayo no cambia y que el rayo gira con la velocidad angular de su fuente.

—¡Seguimos en las mismas! ¿Quizá sea un sutil efecto de la naturaleza cuántica de los fotones?

—La teoría cuántica no tiene nada que hacer aquí. Volvamos al principio: ¿cuál es la dificultad que usted trata de resolver?

—¿Que la mancha puede alcanzar velocidades supraluminosas?

—Sí, y ¿por qué le molesta eso?

—Sé que le gusta la paradoja, pero sabemos que es imposible acelerar un cuerpo más allá de la velocidad límite, puesto que su inercia crece indefinidamente cuando se acerca a este límite.

—¡Claro! Pero ¿cuál es la inercia de la mancha luminosa, su masa? ¿Se trata de un cuerpo material en desplazamiento?

—No, por cierto... Los objetos móviles son los fotones que, usted me lo hizo notar, se propagan en línea recta con su velocidad propia, la de la luz, independientemente de la velocidad giratoria del faro.

—Entonces, ¿por qué prohibir a la mancha esa velocidad supraluminosa? Aunque no se trate de un objeto material, mi mancha puede servir para transportar información. Dispondría entonces de un sistema de comunicación más veloz que la velocidad límite, ¡lo que prohíbe la relatividad einsteiniana!

—Déme un ejemplo concreto.

—Considere a dos personajes, Arístides y Bernabé, sobre nuestra pared circular, la de 100 000 kilómetros de radio; pongamos que se encuentran a 60 grados el uno del otro, o sea la sexta parte de una vuelta, formando así un triángulo equilátero con el faro; los separan 100 000 kilómetros. Arístides lanza un cohete y Bernabé hará lo mismo tan pronto como sepa que Arístides ha disparado. En un sistema clásico, Bernabé observa a Arístides, y cuando ve la luz del cohete, lanza el suyo. El plazo será exactamente debido a la propagación de la luz: la tercera parte de un segundo. Arístides y Bernabé deciden que cada uno disparará en cuanto pase el rayo del faro. Cuando Bernabé ve pasar la mancha, sabe que Arístides la vio un sexto de segundo antes y que disparó; él dispara a su vez. Un observador externo verá, pues, esas dos acciones distantes de 100 000 kilómetros separadas por un sexto de segundo y concluirá que la información pasó de A a B a una velocidad cercana al doble de la de la luz. ¡Y esa sería una conclusión totalmente infundada!

—¿?

—¡Claro! Supongamos que en el último momento Arístides renuncie a disparar; Bernabé no lo va a saber y disparará.

—¿No puede Arístides avisarle?

—¡No más de prisa que la velocidad! En otras palabras, para que haya verdaderamente transmisión de información se necesita modulación de la señal: que Arístides pueda actuar sobre la fuente de la señal, es decir, el faro. Volvemos al problema clásico y el movimiento supraluminoso de la mancha no lo modifica para nada.

—¿Y esa velocidad supraluminosa no implica contradicción alguna?

—En la cabeza de los que creen que la velocidad de la luz no se puede rebasar, sí, pero en relación con el enunciado “ningún objeto material, ninguna información puede rebasar la velocidad de la luz...”, no.

La discusión anterior está relacionada con la realidad concreta. Frecuentemente se manda una señal láser que se refleja sobre la Luna para hacer una telemetría precisa; como la Luna se encuentra más o menos a 400 000 kilómetros de distancia de la Tierra, basta con hacer girar el láser dos veces por segundo para que la mancha luminosa sobre la Luna se mueva ¡más velozmente que la luz! De la misma manera, los *spots* de las pantallas de oscilógrafos catódicos

no ven limitada su velocidad por ningún principio fundamental. Hasta una compañía electrónica hizo su publicidad con el lema, algo optimista, de: “X-tronic, el tubo que escribe más rápido que la luz”. Un fenómeno más corriente obedece al mismo esquema: las guirnaldas luminosas, publicitarias o festivas, se componen de una serie de focos que se encienden sucesivamente según plazos predeterminados. Uno cree ver la luz propagarse con una velocidad dada por la relación entre la distancia entre dos focos sucesivos y el plazo temporal que separa su encendido. Se puede regular ese plazo de tal manera que se provoca la ilusión de la propagación a la velocidad deseada. Un fenómeno aún más sencillo ocurre cuando uno pasa frente a un farol; su sombra sobre la pared se desplaza a una velocidad que es la de uno, multiplicada por la relación entre las distancias del farol a la pared y del farol al trayecto de uno. Nada limita esa velocidad; por lo mismo, esa adivinanza, bajo su forma de *koan zen*, conserva un enunciado físico riguroso: “¿Qué es lo que puede ir más aprisa que la luz? La sombra...”.

El refrán dice que “Con *si...*, se podría meter París en una botella”. Pero sin el *si*, es muy fácil rebasar la velocidad de la luz, puesto que el número de condiciones y restricciones que dan su validez a un enunciado científico es ilimitado. Todo progreso en nuestra comprensión del enunciado equivale a poner un nuevo *si*. Sigamos entonces en nuestro examen de esa pretensión de la velocidad de la luz a tener el papel de límite. ¿Por qué la luz?, es legítimo preguntárselo. ¿Cuál es el privilegio de ese agente físico particular que le permitiría regir la estructura del espacio-tiempo, puesto que de eso se trata la relatividad de Einstein? De hecho, hay una paradoja en establecer, como lo hizo Einstein en 1905, las fórmulas base de la relatividad a partir de la hipótesis de que la velocidad de la luz no se puede rebasar, y luego aplicar esas fórmulas a fenómenos en los cuales la luz o las ondas electromagnéticas no intervienen para nada. Sin embargo, eso es lo que hace la física teórica contemporánea cuando sujeta las interacciones nucleares y cuarkianas al yugo de la relatividad einsteiniana.

De hecho, la cronogeometría einsteiniana tiene un alcance que rebasa por mucho una de sus hipótesis iniciales de base –el postulado de invariabilidad de la velocidad de la luz–. Peor aún: su desarrollo mismo debilita la hipótesis.

El análisis einsteiniano de la dinámica de los objetos materiales lleva a clasificarlos en dos categorías:

1) Objetos masivos que uno puede acelerar a partir de un estado de reposo sin jamás alcanzar ni, *a fortiori*, rebasar la velocidad de la luz, puesto que su inercia aumenta indefinidamente cuando se acerca a ese límite; estos objetos se comportan a baja velocidad como los objetos familiares del espacio-tiempo clásico del concepto. 2) Objetos de masa nula, sin equivalente ni límite clásico; estos objetos, desprovistos de cualquier inercia, no pueden ser ni acelerados ni frenados y se desplazan siempre a la misma velocidad, la de la luz, precisamente si los fotones pertenecen bien a esa categoría.

Resulta que la nulidad de la masa de fotones no está garantizada *a priori*; es una cuestión empírica, a tratar según los medios de la experimentación. Aunque el límite superior actual sobre la masa de fotones es muy bajo, nada permite ni permitirá jamás afirmar en rigor que sea absolutamente nulo. La hipótesis base de Einstein es, pues, bastante frágil y está amenazada por un nuevo resultado experimental que vendría a dar una masa no nula al fotón, y por lo mismo una velocidad variable... ¡La luz iría a una velocidad diferente a la de la luz! Hay que añadir un nuevo *si* a la aserción del carácter irrebasable de la velocidad de la luz: *si* la masa del fotón es nula.

Vale una estrategia diferente. Consiste en registrar esa limitación para modificar la formulación y librarse de su sometimiento a la contingencia de tal propiedad de tal objeto físico particular. Entonces surge una noción más general, la de velocidad-límite, constante estructural del espacio-tiempo, independiente de la naturaleza concreta de los fenómenos que ahí ocurren. Esa velocidad puede, o no, ser la de algunos agentes físicos, según que tengan, o no, una masa nula. Se ve en este ejemplo cómo las profundizaciones sucesivas de una noción llevan a un movimiento sin fin de reformulación, dialectizando así la demasiado sencilla dicotomía de verdadero/falso.

Evidentemente, esas enmiendas perpetuas al texto de la ciencia se imponen pocas veces a teorías clásicas. Debemos reconocer que las teorías científicas que sabemos rebasadas, se encuentran fortalecidas en el seno de su campo de validez, rodeadas y protegidas por las marcas inciertas de las teorías en vía de elaboración, en las cuales se juega la confusa elaboración de las nuevas verda-

des. Nada está definitivamente ganado por el hombre de ciencia. Cuando cree tener su verdad, todavía se le puede escapar; la noción de “campo de validez” funciona como metáfora sólo si uno reconoce su ignorancia *a priori* de la dimensionalidad del espacio teórico: pueden existir varias direcciones independientes en las cuales la validez de una teoría se topa con límites. Así, Newton fue primero resituado por Einstein, y, poco después, en otra dirección, por Bohr; la cuántica le asignó una nueva frontera a la mecánica clásica, pero en una nueva dimensión. Al criterio de validez impuesto por la relatividad einsteiniana (que las velocidades sean pequeñas en relación con la velocidad límite, se añade otro criterio, dictado por la teoría cuántica (que las “acciones” sean grandes, comparadas con la constante de Planck). Uno podría aún añadir la limitación cosmológica que acota las ambiciones de la física newtoniana a campos de pequeño tamaño frente al radio de curvatura del universo. No hay seguridad definitiva.

Una teoría “falsa” y definida como tal, ve su validez controlada y protegida por la teoría “verdadera” que la rebasa y corre a su vez el riesgo permanente del error. Cuando limita el alcance de los enunciados, cuando los sujeta a estrictas condiciones de validez, la ciencia no debilita su “verdad”, al contrario. Es precisamente porque sus verdades son limitadas, condicionales y relativas, que la ciencia puede ofrecernos un espacio de seguridad intelectual en el cual reina el tranquilizador sentimiento de certidumbre. Pero hay que pagar el precio correspondiente. Es admirable que el espíritu humano pueda imponerse esa angostura deliberada del campo de sus cuestionamientos, ese esfuerzo consentido para validar sus contestaciones, que aseguran en la ciencia el juego de lo verdadero y de lo falso. Sería una ilusión imaginar que esa meticulosa disciplina se pueda aplicar a las interrogaciones éticas, políticas y estéticas de la humanidad. La afirmación de lo verdadero y de lo falso, movibles e intercambiables, en ese otro campo, tiene que ser arriesgada. 